

LK-011

偏光ダブルスリットを用いた視差バリア方式3Dディスプレイ Parallax Barrier 3D Display Using Double Polarizer Slit

阪本 邦夫†
Kunio Sakamoto

西田 雅貴†
Masataka Nishida

1. まえがき

近年、バーチャルリアリティ(仮想現実感)の研究が盛んになり、医療、教育、設計・デザインなど様々な分野へ、3次元画像技術が応用されるようになってきた[1, 2, 3]. 立体ディスプレイは、2次元ディスプレイに擬似的に表示されていた3次元映像情報を、奥行き方向も含めて表現できるディスプレイであり、ヒトが見ている3次元の実空間と同じような高臨場感の映像空間を再現することができる。立体映像の表示方法には、両眼立体視を利用した2眼式メガネ方式をはじめ様々な方式が研究されており、筆者らも3次元空間上に立体映像を提示し、様々な操作を行うシステムを構築するため、立体映像表示装置や映像とのインタラクションについて研究を行ってきた[4, 5, 6].

パララックスバリア方式の立体表示方法は、左右の視差画像の分離を行うバリアをガラス基板へストライプ状の吸収膜を形成することにより作製でき、薄型かつ表示面が平らな表示装置を実現できるため、立体ディスプレイとして優れた特性を有しており、メガネなしで立体映像を観察できるうえ、多人数鑑賞も可能であるという特徴がある。しかし、この方式では左右の眼に対応する映像を短冊状に分割し、画素列ごとに左右交互に並べた縦ストライプ状の左右混成画像を映像スクリーンに表示し、この映像を遮光スリットにより左右映像に分離する。このため、メガネなしで立体表示を実現できるが、2眼立体視のシステムでは、水平方向画素の解像度が1/2になる問題がある。また、観察視点位置により、左眼と右眼の映像が入れ替わる「逆視」の問題も発生する。先に筆者らは偏光スリットを利用して、これらの問題を個別に解決する手法を提案した[7, 8]が、解像度改善と逆視防止を両立させ同時に実現することは困難であった。そこで、本論文では、偏光特性を有する2画面分の映像を投影し、縦ストライプ状の偏光スリットにより、これら映像を左右の眼に分離・提示することで、解像度劣化の生じない2眼式立体表示を行い、さらに偏光スリットを二重に配置するダブルスリット構造を採用することで、逆視防止の機能も付加することが可能な立体映像システムについて提案する。

2. パララックスバリア方式の原理と問題点

パララックスバリア方式は図1に示すように、ストライプ状の左右の眼に対応する画像の前に配置したスリット状の遮光マスクを通して、この画像を分離して観察する方法である。この遮光マスクの位置、スリット幅、バリアのピッチはストライプ状の画像の幅によって変わる。水平画素ピッチを P_L 、観察者の眼間距離を E 、観察距離を Z_E とすると、図2に示すように、 $\Delta P_2P_5P_6$

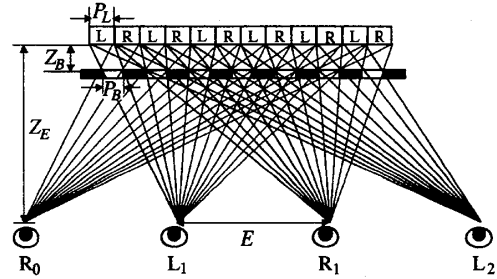


図1: パララックスバリア方式立体ディスプレイ

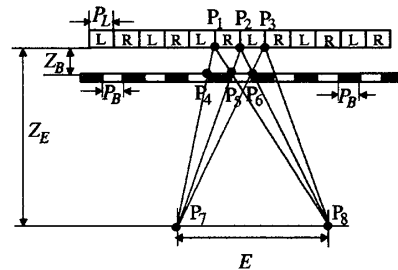


図2: パララックスバリアの設計

と $\Delta P_2P_7P_8$, $\Delta P_1P_3P_7$ と $\Delta P_4P_6P_7$ が相似ゆえ、

$$P_B : Z_B = E : Z_E, \quad 2P_L : Z_E = 2P_B : (Z_E - Z_B)$$

の関係が成り立つ。この関係から、パララックスバリアの幅 P_B と設置位置 Z_B は幾何学的に決定され、それぞれ

$$P_B = P_L E / (E + P_L), \quad Z_B = P_L Z_E / (E + P_L)$$

と求められる。このようなパララックスバリア方式では、図3(a)に示すように、眼間距離 E ごとに左眼用画像、右眼用画像の観察位置が交互に現れる。そのため、水平方向の解像度が1/2になるとともに、観察者の視点位置によっては、左(右)眼用画像を右(左)眼で観察する場合があるため、左眼と右眼の映像が入れ替わる「逆視」の問題が発生する。この逆視の問題を解決する方法として、図4に示すように、パララックスバリアにより3眼式の立体表示を行い、このうち1つの観察位置で何も映像が観察されないように、左眼・右眼の画素対の間に黒画素を設けることで、正立体視領域のみ構成する方法が提案されているが、2視差表示にも関わらず3視差表示の場合の解像度と同等になる問題がある。

3. 倍密度表示の原理

一般に、2眼式の立体表示では、投影スクリーンに表示された映像を、左右の眼で異なる映像を観察するよう

†島根大学 総合理工学部, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University

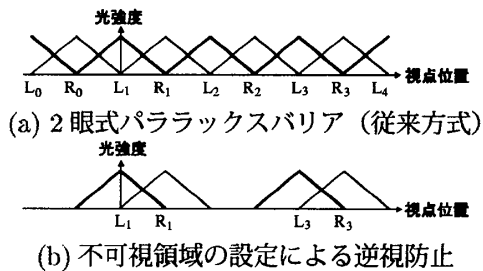


図 3: 遮光バリアによる光強度変化

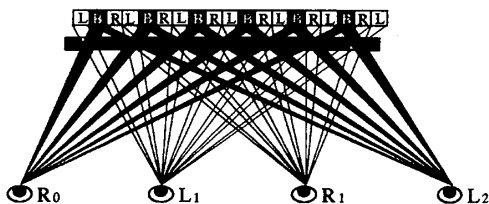


図 4: 黒画素挿入方式による逆視防止

に分離して両眼立体視を実現している。このため、図1に示したパララックスバリア方式の立体表示では、ステレオ画像の画素配置がストライプ状になるため、横方向の解像度の劣化を生じ、左右それぞれの視差映像の解像度は半分となる。そこで、偏光メガネ方式と同様に、投影光の偏光方向を直交させて、左右の眼で観察する視差映像を2台のプロジェクタにより投影することで、投影スクリーン上に2倍の映像情報の提示を行う倍密度表示を実現する。倍密度表示を行う場合でも、遮光スリットにより視差分離を行うため、投影スクリーン上にはストライプ状の左右混成画像が必要となる。2台のプロジェクタにより投影される映像の偏光方向は互いに直交しているため、各プロジェクタで図5に示すような偏光方向の異なる左右ストライプ画像を投影すればよい。また、図6に示すように、偏光方向を90°回転させることができる1/2波長板を利用すると、図7に示すように、投影画素と同じ幅で投影スクリーン上に1/2波長板をストライプ状に貼付することにより、偏光方向が直交する左眼、右眼用映像を投影すると、ストライプ状の1/2波長板により偏光方向が90°回転する。その結果、図7に示すように、1/2波長板と同じストライプ幅で、左右ステレオ混成画像が生成される。偏光方向の異なる2台のプロジェクタの映像は同時にスクリーン上へ投影されているため、図7に示す水平方向に偏光したストライプ混成画像と、垂直方向に偏光した混成画像が2重に投影されることになる。

このような2種類の偏光状態を持つ2重に投影された視差情報を分離するために、図8に示すような偏光方向により光の透過、不透過の選択性を有する偏光フィルタを利用する。図7に示すように、偏光方向の異なる偏光フィルタをストライプ状に交互に配置して、遮光スリットを構成する。水平方向の偏光を有する左右混成画像に対しては、図7(a)に示すように、水平方向の偏光フィル

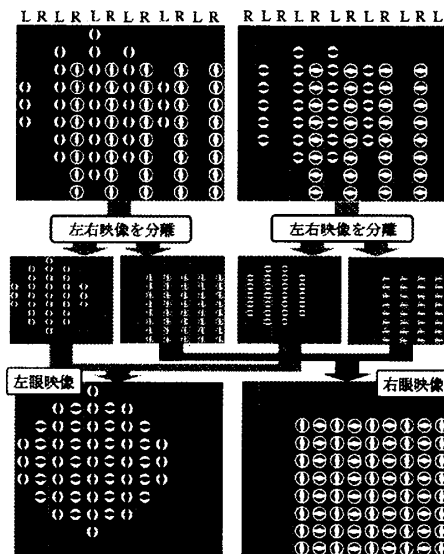


図 5: 解像度劣化のない視差映像表示

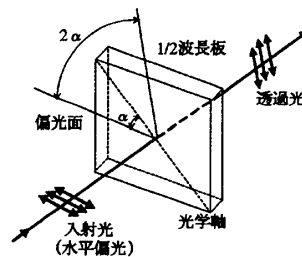


図 6: 1/2 波長板

タが開口部、垂直方向の偏光フィルタが遮光部となるため、左右映像の分離が行われる。垂直方向の偏光を有する左右混成画像に対しても同様に、図7(b)に示すように、垂直方向の偏光フィルタが開口部、水平方向の偏光フィルタが遮光部となるため、左右映像の分離が行われる。水平・垂直両方向の偏光を持つ混成画像は、同時に視差分離が行われるため、倍密度の立体表示が実現でき、2眼式の立体表示の場合には、図5に示すように解像度劣化の生じない立体表示が可能となる。

4. 偏光ダブルスリットによる逆視防止

2眼式立体表示において、図3(b)に示すように、左(右)眼の映像観察位置が1つおきに可視領域と不可視領域が入れ替わるように、 $L(R)_0, L(R)_2$ を不可視領域に設定すれば、左(右)眼用画像を右(左)眼で観察する機会が生じないため、逆視を防止することができる。本章では、倍密度表示を実現したパララックスバリア方式において、投影スクリーンと偏光視差バリアの間に、新たに偏光スリットを追加することにより、偏光を利用することで視差バリア部を選択的に通過させる視差映像光束の制御が可能になり、不可視領域を設けることで逆視の発生を防止する原理について述べる。

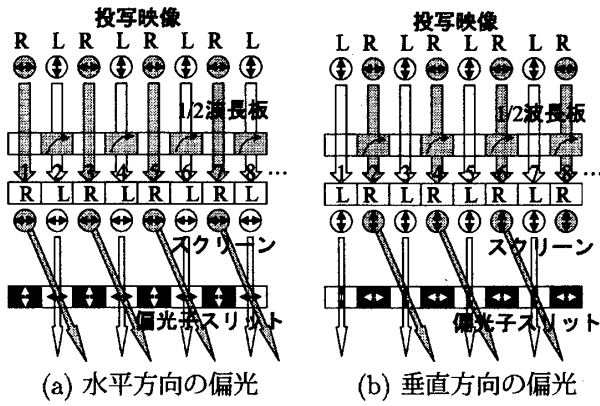


図 7: 偏光スリット方式倍密度表示ディスプレイ SUA-10

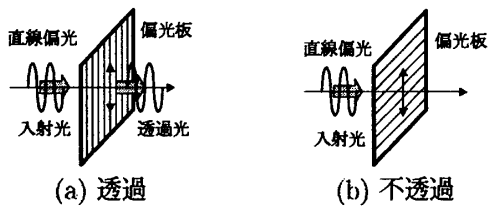


図 8: 偏光板を用いた遮光バリア

2眼式のパララックスバリア方式倍密度立体表示において、 $L(R)_{2k+1}$ の左(右)側に位置する観察領域 $R_{2k}(L_{2k+2})$ を不可視領域として逆視の発生を防止するため、倍密度の立体表示を実現するために投影された水平・垂直両方向の偏光方向を持つ視差映像に対し、左右視差映像の分離を行うための偏光視差バリアに加え、図9に示すように、偏光方向が交互に直交する偏光フィルタを新たに配置する。図10に示すように、 $\Delta P_4 P_2 P_1$ と $\Delta P_4 P_7 P_8$ の相似関係

$$P_L : Z_S = P_B : (Z_B - Z_S)$$

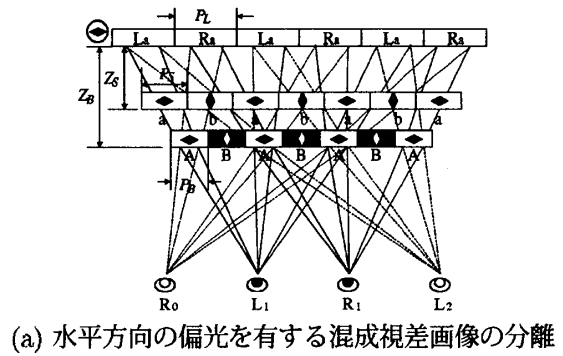
$\Delta P_2 P_4 P_5$ と $\Delta P_2 P_7 P_8$ および $\Delta P_8 P_5 P_6$ と $\Delta P_8 P_2 P_3$ の相似関係より、

$$P_S = Z_S P_B / Z_B + (Z_B - Z_S) P_L / Z_B$$

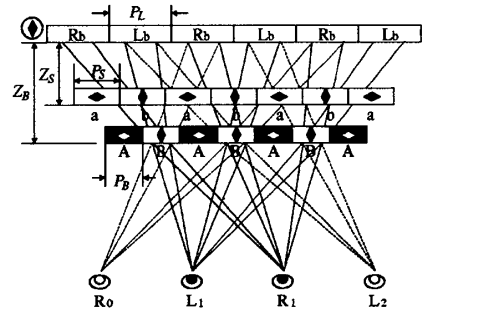
を得る。したがって、スリット幅 P_S と配置位置 Z_S は幾何学的に決定され、それぞれ

$$P_S = 2P_L P_B / (P_L + P_B), \quad Z_S = P_L Z_B / (P_L + P_B)$$

と求められる。また、水平方向の偏光特性を有する左右混成画像に対しては、図9(a)に示すように、垂直方向の偏光フィルタBが遮光部となり、水平方向の偏光フィルタAが開口径となるため、スリットにより視差分離が行われ、垂直方向の偏光特性を有する左右混成画像に対しては、図9(b)に示すように、偏光フィルタAが遮光部、フィルタBが開口径となり、投影映像の偏光方向に対応するスリットにより視差分離が行われるため、倍密度表示が実現されている。



(a) 水平方向の偏光を有する混成視差画像の分離



(b) 垂直方向の偏光を有する混成視差画像の分離

図 9: 偏光ダブルスリット方式ディスプレイ SUA-200

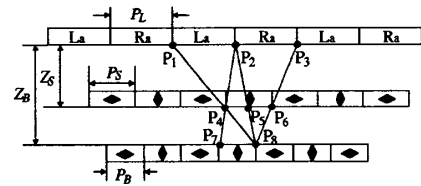


図 10: 偏光ダブルスリットの配置位置の関係

このようにして、偏光視差バリアにより左右眼に分離される視差映像光束のうち、不可視領域に設定された観察視点位置に到達する光束を、設置位置 Z_S に配置された偏光スリットにより遮光することで、逆視の発生を防止する。水平方向の偏光特性を有する左右混成画像の視差分離の原理を示した図9(a)において、画素 $L(R)_a$ はスリット部aおよび視差バリア部Aを通過して観察位置 $L(R)_1$ に到達する光束を生成する。この画素 $L(R)_a$ は、通常の2眼式立体表示においてはスリット部bも通過するため、観察位置 $L(R)_0, L(R)_2$ などにおいても映像の観察が可能になる。スリット部bを通過する光束を遮光することにより、 $L(R)_0, L(R)_2$ などを不可視領域とすることができるが、同時にスリット部bを通過する垂直方向の偏光特性を有する図9(b)に示す画素 $L(R)_b$ の光束を遮光することになるため、偏光フィルタを利用してスリット部を通過する視差光束を制御する。したがって、画素 L_a, R_a 、視差バリア部Aとスリット部aで、同じ偏光方向となるように図9(a)に示すような偏光スリットを構成すると、視差バリア部Aを通過する画素 $L(R)_a$

はスリット部 a のみを通過して、観察位置 $L(R)_1$ に到達する光束のみ生成され、 $L(R)_0$ 、 $L(R)_2$ などに到達する光束は生成されないため、 $L(R)_0$ 、 $L(R)_2$ などを不可視領域とすることができる。また、図 9(b) に示した垂直方向の偏光特性を有する左右混成画像の視差分離についても同様に考えると、画素 $L(R)_b$ もスリット部 b、視差バリア部 B のみを通過して、観察位置 $L(R)_1$ に到達する光束のみ生成され、 $L(R)_0$ 、 $L(R)_2$ などに到達する光束は生成されないため、 $L(R)_0$ 、 $L(R)_2$ などを不可視領域とすることができる。このように、倍密度立体表示においても偏光ダブルスリットを用いることで、黒画素を挿入することなく逆視防止が実現できるため、逆視防止の機能を付加しても、3章で述べた倍密度立体表示の場合と同等の解像度を維持することができ、多人数鑑賞可能な逆視領域のない立体表示をメガネなし立体表示の方式でも実現することができる。

5. 立体表示装置の試作

まず、投影光束の偏光方向を調整した投影光学系を使用して、偏光方向が直交する左眼、右眼用映像を提示する映像投影装置を作製した。また、 $1/2$ 波長板をストライプ状に貼付した投影スクリーンを使用する構造としたため、左眼・右眼用の映像を投影することにより、図 7 に示した原理でスクリーン上に、水平・垂直両方向に偏光したストライプ混成画像が 2 重に投影される映像表示部を構成した。今回試作した表示システムでは、眼間距離 E を 65mm と仮定し、画像表示部のストライプ幅を $P_L = 2.6(\text{mm})$ 、視差バリア部のスリット幅を $P_B = 2.5(\text{mm})$ と設定した。また、画像表示部と視差バリアとの間隔 Z_B を 10mm としたため、観察距離 Z_E は 260mm となっている。さらに、逆視防止の機能を付加するために用いる偏光スリットのスリット幅 P_S は 2.55mm であり、設置位置 $Z_S = 5.1(\text{mm})$ に配置した。2 眼式表示において倍密度表示を行う場合、 $1/2$ 波長板を使用して縦ストライプ状の左右混成画像を生成すると、2 台の映像投影装置は、それぞれ左右の視差映像を個別に全域投影表示することになるため、投影光学系の投写精度に関わらず、左右映像は正確に分離されることになる。図 11 に観察される視差映像と設計観察距離での左(右)眼用映像の光量変化を示す。2 画面表示により左眼、右眼用映像の全域表示が実現されているため、水平方向の解像度が劣化することなく、視差映像を表示できていることが確認できる。また、ダブルスリット構造を採用することにより図 11(c) に示すように不可視領域が形成されており、左(右)眼用映像を右(左)眼で観察する場合は生じないことを確認できた。

6. まとめ

2 台の投影装置によりリア投写された偏光方向が互いに直交する左右映像を、縦ストライプ状の偏光スリットを用いて、左右映像の分離を行うことにより、倍密度の立体映像表示が実現できるパララックスバリア方式の立体表示装置について述べた。また、ダブルスリット構造を採用することで、立体映像の画像解像度を維持したまま、多人数鑑賞可能な逆視領域のない立体映像表示装置を構築できることを確認した。試作したディスプレイで

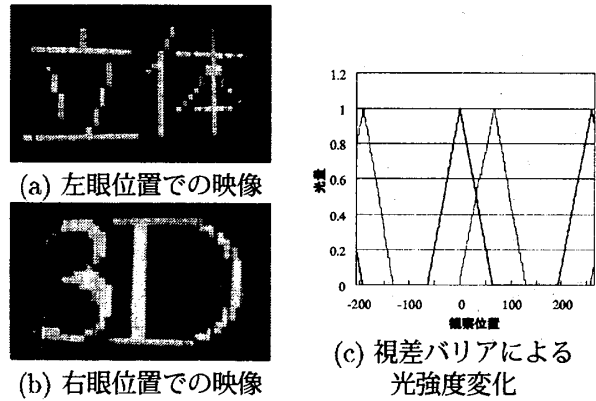


図 11: 試作装置の表示映像と両眼分離の特性

は、偏光フィルタを短冊状に貼りあわせて遮光バリアを構成しており、構造が不細工なものとなっている。しかし、バクトグラフに使用する光学フィルムを用いて、任意のストライプ幅の偏光フィルタを印刷技術により工業的に作製が可能であるため、従来の遮光バリアの代わりに本論文で述べた偏光ダブルスリットを使用することで、左(右)眼用映像を右(左)眼で観察することのない高解像度立体映像の提示を容易に実現することができると考えている。

参考文献

- [1] 大越孝敬：“三次元画像工学”，朝倉書店（1991）
- [2] 泉武博監修：“3次元映像の基礎”，オーム社（1995）
- [3] 谷千束編著：“高臨場感ディスプレイ”，共立出版（2001）
- [4] 阪本邦夫，高木美和：“立体映像へのインタラクションのための3次元位置計測の一手法”，映情学誌，57，9，pp.1152 - 1154（2003）
- [5] 阪本邦夫，木村理恵子：“単眼カメラ映像を用いた指差しインタの構成”，映情学誌，58，5，pp.721 - 723（2004）
- [6] 阪本邦夫，高木美和：“偏光パララックスバリア方式多視点立体ディスプレイの試作”，映情学誌，58，9，pp.1288 - 1290（2004）
- [7] 阪本邦夫，木村理恵子：“逆視領域のないパララックスバリア立体ディスプレイの一方式”，映情学誌，58，11，pp.1669 - 1671（2004）
- [8] 阪本邦夫，木村理恵子：“偏光パララックスバリア方式透過型立体ディスプレイ”，映情学誌，59，2，pp.296 - 301（2005）